干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

新疆沙产业状况与水资源承载力研究

刘洪霞[1]，冯益明[2]，管文轲[3]

(1 农业农村部农业大数据重点实验室，中国农业科学院农业信息研究所，北京 100081；
2 中国林科院荒漠化研究所，北京 100091；3 新疆林业科学院造林治沙所，新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要：采用2000、2005、2010、2015年4期土地利用/土地覆盖遥感解译数据以及新疆水资源公报和统计年鉴资料，旨在评价新疆沙产业与水资源承载力状况。通过计算未利用土地转化成农地、林地、草地的数量，分析16 a来新疆沙产业发展状况，结合水足迹模型和区域水资源承载力评价指标，计算新疆2000—2015年水足迹，对区域水资源承载力进行评价。结果表明：(1) 2000—2015年间，随着新疆人口增长和经济的发展，新疆沙产业发展迅速，部分沙地、戈壁等未利用土地和草地被开发成耕地、林地、工矿和城镇及农村居民用地。(2) 新疆水足迹整体呈上升趋势，水足迹以消费农产品水足迹占主体，且消费农产品水足迹量快速增加，主要原因是新疆地区大力发展沙产业，利用未利用土地、草地进行植物、沙生药材种植。(3) 新疆人均水足迹、水资源压力指数、水足迹效益指标呈现增加趋势，但数值明显低于我国人均水平。新疆社会经济发展总体趋势向好，但水资源利用方式仍然比较粗放，水资源未得到合理开发。因此，新疆应采取优化产业结构、调整农作物种植比例和用水结构，以增大水资源所支撑的沙产业发展规模，研究可为区域产业结构及消费模式调整提供依据。

关 键 词：沙产业；水资源；水足迹；承载力
文章编号：

"沙产业"由钱学森教授1984年首次提出，它是知识密集型大农业系统的一个子系统[1]，采用高新技术，发展"多采光、少用水、高效益、新技术"的知识密集型产业[2]。发展沙产业是中国生态文明建设、西部开发和脱贫致富的必然选择[3]。发展沙产业，将增加对水资源的需求量，水资源是制约沙产业发展的重要因素，尤其是干旱区。水资源承载力成为水资源可持续发展热点问题[4]。

水资源承载力指在区域社会、经济和生态可持续发展前提下，水资源最大供给生产、生活和生态等用水的能力[5]。从定义中可看出：一个地区的水资源承载力取决于当地的自然环境、水资源量和社会经济条件等因素。当前，国外学者多数将水资源承载力纳入到可持续发展理论的研究中[6-7]，国内学者多集中在区域和城市水资源承载力两方面开展研究，通过采用模糊物元模型[8]、神经网络[9]、系统动力学[10]、主成分分析[11]以及综合评价[12]等方法分析区域水资源承载力。现有研究很少考虑社会经济因素，而水足迹理论从消费的角度考虑人类对水资源的占用，将水资源承载力问题拓展到社会经济领域[4]。水足迹概念最早由荷兰HOEKSTR于2003年在代尔夫特举办的虚拟水贸易会上提出，其作为一种核算人类对水资源真实占用的计量指标，将人类的消费与水资源相关联，为维持地区水资源的安全、提高水资源利用效率提供重要依据，成为水资源研究的热点领域。

为评价新疆沙产业与水资源承载力状况，研究通过分析新疆2000—2015年土地利用/土地覆盖中

收稿日期：2019-12-24； **修订日期**：2020-04-01
基金项目：国家林业和草原局软科学课题"丝绸之路沿线沙产业与生态协调发展对策研究"与"干旱区生态与产业协调发展水资源承载力研究"；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(Y2018ZK09，Y2016ZK18)支持
作者简介：刘洪霞(1973-)，女，副研究员，硕士，信息技术在农业中应用. E-mail: liuhongxia01@caas.cn
通讯作者：冯益明，男，研究员，荒漠化监测. E-mail: fengym@caf.ac.cn

未利用土地转化成农地、林地、草地的数量，掌握区域沙产业动态，然后基于水足迹模型，计算2000—2015年水足迹，提出水资源承载力评估指标，定量测算区域水资源承载力，提出区域沙产业与生态协调发展对策，为区域产业结构及消费模式调整提供依据。

1 研究区概况

新疆地处内陆，气候极端干旱，降水稀少，年平均降水量150 mm左右，仅占全国平均年降水量的23%。2015年，全疆地表水资源量8.73×10^{10} m^3，地下水资源量5.36×10^{10} m^3，水资源总量9.18×10^{10} m^3。

新疆农业用水占总用水量的绝大部分，2015年农业灌溉用水占总用水量的94.7%。根据《全国水资源综合规划(20101207)》，到2020年新疆总用水量规划是5.26×10^{10} m^3，但到2015年，全疆总用水量已达到5.77×10^{10} m^3，其中生产用水量5.61×10^{10} m^3，生活用水1.00×10^{9} m^3，生态环境补水量5.79×10^{8} m^3。资源性缺水十分突出，水资源成为新疆社会经济发展的限制性因素之一[13]。

新疆是我国沙化土地面积最大，风沙危害最严重的省区。该区域内有丰富的光、热资源以及独特多样的物种资源。近年来，新疆充分利用沙区丰富的光热水土资源，采用防沙治沙生态建设与沙产业有机结合，以促进农民增收为主要目的，已初步形成了以特色林果业、维吾尔药材、设施农业等为重点的沙区特色产业[14]，截止2014，区域沙产业年产值达41.7亿元(信息源于网址：http://news.ifeng.com/a/20141105/42384424_0.shtml)。新疆的荒漠地区大多受到水资源短缺的限制，当前，新疆沙产业多以植物种植和沙生药材开发为主[15]，而这些产业消耗水资源量大，故此，水资源承载力已逐渐成为新疆社会经济发展和生态系统稳定的制约性因素，合理利用水资源，提高水资源承载力是新疆经济、生态协调发展的重要问题。

2 研究方法

2.1 沙产业状况及变化特征

根据周义才等2015年对新疆沙产业的定义：在沙漠和荒漠化地区，立足生态环境建设，采用高新技术手段，在光足区域，突破干旱缺水限制，能够促进沙漠和沙漠化区域经济、社会和生态可持续发展的沙地农业、工业和服务业。目前，新疆沙产业主要以植物种植为主，还有用材林基地建设，沙生药材开发，生物质能源利用[15]。根据这一定义及其对当前新疆沙产业开发情况的说明，新疆沙产业发展状况及变化可以通过分析未利用地(包括沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石质地、其它)转化成农地、林地、草地的数量来表达。为此，研究通过监测新疆土地利用/土地覆盖类型转化来分析沙产业状况及变化特征。

2.2 水足迹测算

水足迹是指在一定社会经济发展水平下，生产区域内人群所消耗的产品和服务的需水量[16-17]。因此，水足迹测算不仅包括消耗实体水量，还包括消耗虚拟水量。研究从消费者角度，采用自下而上法[18]进行水足迹测算，计算公式：

$$WF = LU + EU + \sum_{i=1}^{n}(p_i \times VWC_i) \qquad (1)$$

式中：WF为水足迹(单位10^8 m^3)；EU为生态用水量(单位10^8 m^3)；LU为生活用水量(单位10^8 m^3)；p_i为第i种产品消费量，单位10^4 t；VWC_i为第i种产品单位质量虚拟水含量(单位$m^3\cdot kg^{-1}$)，新疆地区主要产品单位质量虚拟水含量，见表1，单位质量虚拟水含量来自于文献[4, 19-21]。

生态用水、生活用水量数据来源于《新疆维吾尔自治区水资源公报》和《新疆维吾尔自治区统计年鉴》；农产品消耗量依据居民消费水平测算；工业产品虚拟水消费量采用新疆地区工业用水量，数据来源于《新疆维吾尔自治区统计年鉴》。

2.3 水资源承载力测算

水资源承载力是指在保证区域可持续发展前提下，通过合理开发水资源，区域内水资源可支撑的社会经济发展规模[22]。研究选用水资源压力指数、水足迹经济效益指标来表征新疆地区水资源承载力情况[16]。水资源承载力指标与测算公式，见表2。

表1 新疆地区主要产品单位质量虚拟水含量 / $m^3\cdot kg^{-1}$

Tab. 1 Virtual water content of main products in Xinjiang region / $m^3\cdot kg^{-1}$

粮食	棉花	薯类	油料	蔬菜	水果	羊肉	牛肉	猪肉	禽类	奶制品	蛋	水产品
1.13	5.43	0.23	2.36	0.1	1	5.20	12.6	2.21	3.65	1	3.55	5

表2 水资源承载力指标含义及测算公式

Tab. 2 Indices, meaning and calculation methods of water resources carrying capacity

指标	介绍	计算方法
水资源压力指数(*WP*)	表示水足迹 *WF* 与总水资源量 *WA* 的比值。反映人民生活、生产消费对区域水资源的压力。	*WP*=*WF*/*WA*
水足迹经济效益(*WFP*)	区域生产总值GDP与水足迹 *WF* 比值。水足迹产生的经济效益越大,比值越大。	*WFP*=*GDP*/*WF*

从表2知,水资源压力指数表征人类活动对水资源影响的大小;水足迹经济效益表征水足迹与社会经济发展的相关关系。2指标分别从消费和社会经济发展角度评估水资源承载现状与趋势。

3 结果分析

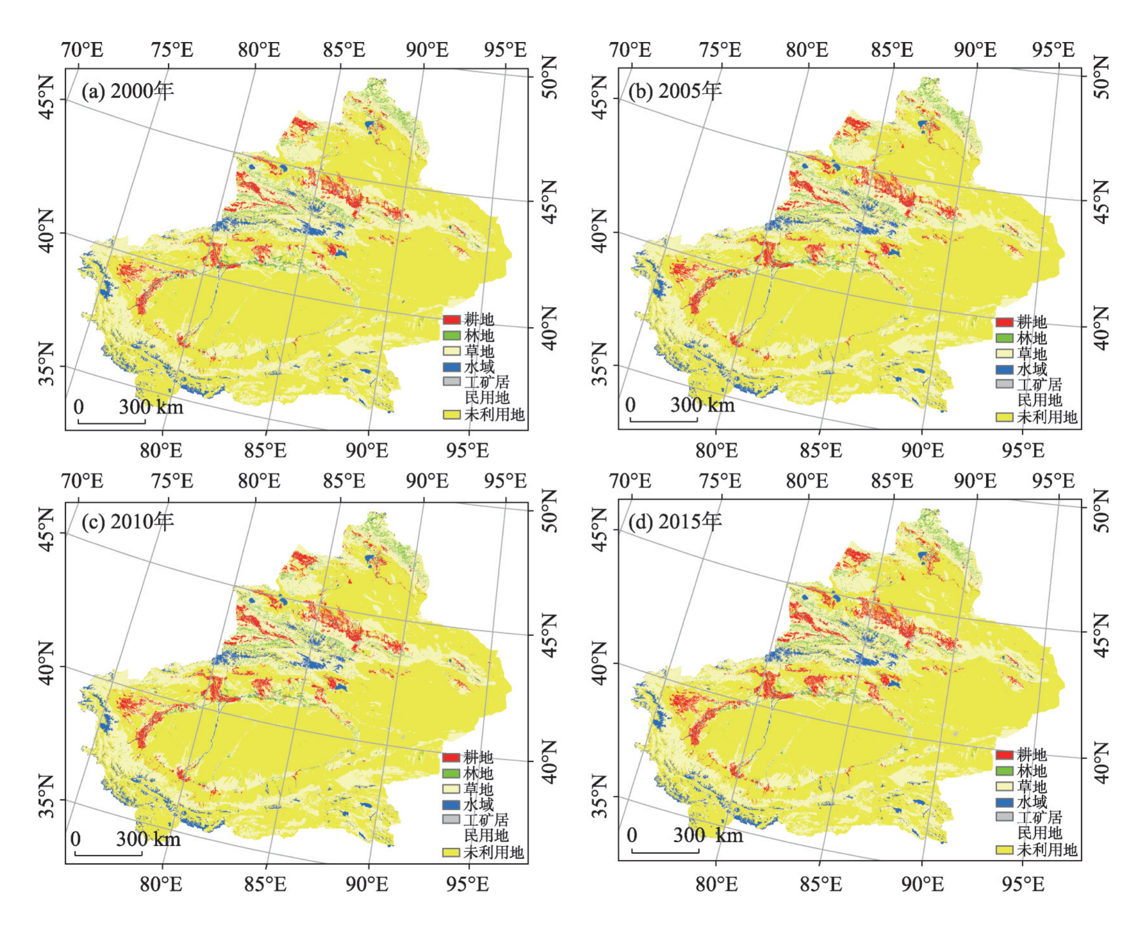
3.1 研究区沙产业状况及其变化特征

根据周义才等[15]对新疆沙产业研究结果显示:目前,新疆沙产业开发是在沙漠和荒漠化地区,主要种植植物、沙生药材和进行用材林基地建设,因此,新疆沙产业发展情况,可以通过分析未利用土地(包括沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石质地、其它)转化成农地、林地、草地的量表达。

研究通过获取新疆2000、2005、2010、2015年4期土地利用/土地覆盖遥感解译结果(数据来源于网站:http://www.resdc.cn),分析新疆沙产业时空变化状况。为了分析方便,研究将2000—2015年各期土地利用/土地覆盖按一级类(耕地、草地、林地、城乡工矿居民用地、水域、未利用土地)进行归类。新疆各期土地利用/土地覆盖类型图,如图1;表3为新疆各期土地利用/土地覆盖面积统计表。

从图1和表3可以看出,新疆土地利用/土地覆盖类型以未利用土地和草地占主体,在研究时段内,未利用土地面积占比超过60%,草地面积超过占比大于28.9%。

总体来看,研究时段内,面积明显增加的是耕



该图基于新疆维吾尔自治区测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为新S(2018)033号的标准地图,底图无修改

图1 新疆各期土地利用/土地覆盖类型图

Fig. 1 Land use/land cover map of different periods in Xinjiang

表3 新疆各期土地利用/土地覆盖面积统计表 / km^2

Tab. 3 Area statistics of land use/land cover in different periods in Xinjiang / km^2

类型/年度	2000年	2005年	2010年	2015年
耕地	59 503	66 498	68 917	77 209
林地	38 255	37 838	37 582	37 033
草地	479 598	474 950	474 126	468 873
水域	52 127	52 305	52 040	52 365
工矿、居民用地	4 296	4 710	4 882	6 641
未利用土地	1 005 483	1 002 961	1 001 715	997 142

地和工矿居民地，面积明显减小的是草地和未利用土地。16 a来，未利用土地面积减少了8 341 km^2；草地面积减少了10 725 km^2；耕地、工矿居民用地增加明显，耕地面积增加了17 706 km^2，增加幅度达29.8%，工矿居民用地面积增加了2 345 km^2。新疆土地利用/土地覆盖转移矩阵如表4。

从表4可以看出，由于新疆大力发展沙产业，部分沙地、戈壁等未利用土地有6 247 km^2垦植为耕地，220 km^2变为林地，879 km^2变为草地，1 115 km^2变为工矿、居民用地，790 km^2草地变为水域。同时，草地有11 414 km^2垦植为耕地，541 km^2变为工矿、居民用地。说明随着新疆人口的增长和经济的发展，新疆沙产业发展迅速，驱动耕地、城镇及农村居民地面积增加较大。

3.2 2000—2015年新疆水足迹变化特征

根据水足迹计算方法得到新疆2000—2015年区域水足迹总量、各分量数值，如表5，水足迹各分量变化情况如图2。

由表5和图2知：2000—2015年间，新疆地区消费农产品水足迹占主体，研究时段内，其占总水足迹量均超过64%，且以2.42×10^8 $m^3\cdot a^{-1}$速率呈增加趋势。由于新疆大力发展沙产业，部分戈壁、沙地等未利用土地和草地被垦植为耕地，造成消费农产品水足迹量增加明显；消费工业产品水足迹在研究时段内占总水足迹量均不超过10%，以0.25×10^8 $m^3\cdot a^{-1}$速率呈缓慢增长趋势。研究时段内，虽然新疆工矿居民用地面积增加幅度大，但总量小，所以消费工业产品水足迹占比不高；生活用水在2002年以前占总水足迹量超过10%，但2002年以后，占比明显下降，降为5%左右，得益于区域节水措施的全面实施使得生活用水下降明显；生态用水先增后降，总体呈降低趋势。近年来，新疆水足迹呈增加趋势，表明区域经济发展趋势向好，但人均水足迹水平明显低于我国人均水平（2011年，1 093 $m^3\cdot a^{-1}$），表明新疆整体生产、生活水平相对落后。

3.3 水资源承载力分析

根据新疆地区水足迹量，考虑水资源现状及经济发展需求，分析2000—2015年区域水资源承载力指标变化状况，见表6。

水资源压力指标：由表6可知，水资源压力指数呈上升趋势，压力不大。新疆2000—2015年的水资源压力指数由0.14增大到0.16，表明整体上新疆地区的水资源压力是低的。但从总的变化趋势看，新疆地区的水资源压力在增加。

水足迹效益指标：由表6可知，新疆地区2000—2015年水足迹经济效益呈指数型增长，2015年是2000年的5.75倍，年均增长率为35.93%，说明新疆单位水足迹创造的社会财富在不断提高。

4 讨 论

研究时段内，消费农产品水足迹量增加明显，由2000年的82.7×10^8 m^3增加到2015年121.34×10^8 m^3，增幅达46.7%，对照2000年与2015年土地利用/土地覆盖发现，由于新疆大力发展沙产业，利用未利用土地、草地进行植物、沙生药材种植，16 a间，耕地

表4 新疆土地利用/土地覆盖转移矩阵（2000—2015）/ km^2

Tab. 4 Transition matrix of land use/land cover of Xinjiang (2000—2015) / km^2

2015年	2000年					
	耕地	林地	草地	水域	工矿、居民用地	未利用土地
耕地	58 069	1 249	11 414	195	35	6 247
林地	26	36 657	118	10	2	220
草地	0	226	466 620	561	7	879
水域	58	51	456	49 134	2	790
工矿、居民用地	216	47	541	53	4 246	1 115
未利用土地	142	24	436	302	4	996 244

表5 新疆地区2000—2015年水足迹和人均水足迹

Tab. 5 Value of water footprint and per capita water footprint in 2000—2015 in Xinjiang region

年份	区域水足迹 $10^8 m^3$	人均水足迹/m^3	消费农产品水足迹/$10^8 m^3$	消费工业产品水足迹/$10^8 m^3$	生活用水 $10^8 m^3$	生态用水 $10^8 m^3$	人均水资源量/m^3
2000	127.6	690.0	82.7	10.9	15.9	18.1	5 038.0
2001	118.4	630.8	76.9	9.6	13.7	18.1	5 457.7
2002	126.7	664.8	82.8	10.2	15.5	18.1	5 6076.0
2003	119.2	616.4	86.6	8.3	6.2	18.1	4 758.0
2004	121.3	618.0	83.3	11.6	6.7	19.7	4 358.1
2005	133.1	662.0	96	10	5.4	21.7	4 788.7
2006	139.4	679.9	98.7	10.6	5.9	24.2	4 648.6
2007	135.4	646.1	97.7	10.8	6.4	20.5	4 121.7
2008	136	638.2	97.2	11.4	7.3	20.1	3 827.3
2009	137.3	636.2	100.8	11.8	8.3	16.5	3 495.2
2010	139.9	641.2	101.9	13.6	7	17.4	5 125.2
2011	141.1	638.9	110.7	14.1	7.6	8.7	4 031.3
2012	143.6	643.2	117.3	13.9	8.4	4	4 055.5
2013	143.5	633.8	114.7	13.8	9.1	5.8	4 251.9
2014	160.3	697.5	131.4	14.4	9.3	5.3	3 186.9
2015	151.74	642.9	121.34	14.9	9.2	6.3	3 994.3

注：2000—2002年无生态用水统计，采用2003年数据

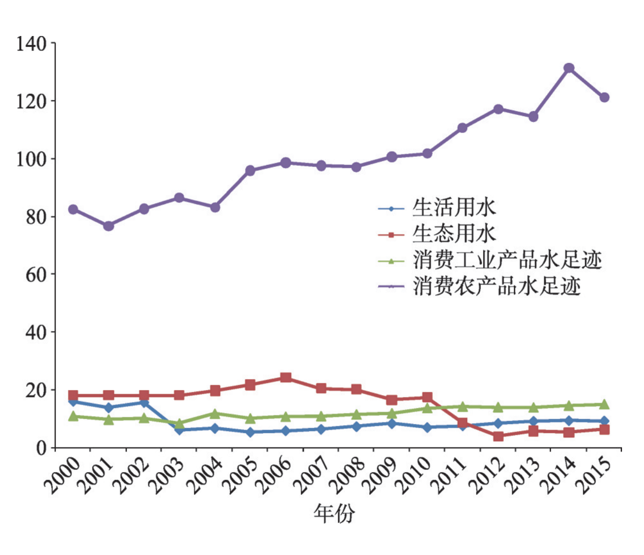


图2 新疆2000—2015年的水足迹变化

Fig. 2 Water footprint change in 2000—2015 in Xinjiang region

面积增加幅度达29.8%，即有63.8%的消费农产品水足迹量增量来自于沙产业开发。2015年，消费农产品水足迹量占总水足迹量达到79.96%，是水足迹的主体，故此，新疆大力发展沙产业，进行植物、沙生药材种植是造成水足迹量增加的主因。

2000—2015年，新疆人均水足迹、水资源压力指数呈现略微增加趋势，但16 a间，新疆人均水足迹最大697 $m^3 \cdot a^{-1}$，明显低于我国人均水平（2011年，1 093 $m^3 \cdot a^{-1}$），且新疆人均水资源量远大于人均水足迹；期间，水资源压力指数虽然略有增加，但数值偏低；另外，水足迹经济效益16 a间增加了4.75倍，单位水足迹创造的社会财富在不断提高，但新疆的水资源集约利用度仍然低于沿海等发达地区。这

表6 2000—2015年新疆地区水资源承载力指标值

Tab. 6 Index values of water resource carrying capacity in 2000—2015 in Xinjiang region

年份	水足迹经济效益 *WFP*/元·m^{-3}	水资源压力指数 *WP*
2000	10.69	0.14
2001	12.60	0.12
2002	12.73	0.12
2003	15.82	0.13
2004	18.21	0.14
2005	19.56	0.14
2006	21.84	0.15
2007	26.02	0.16
2008	30.76	0.17
2009	31.15	0.18
2010	38.86	0.13
2011	46.85	0.16
2012	52.26	0.16
2013	58.84	0.15
2014	57.85	0.22
2015	61.45	0.16

些结论均说明：近年来，新疆社会经济发展总体趋势向好，居民生活水平稳步提高，但新疆的水资源利用方式仍然比较粗放，新疆的水资源并未得到合理的开发和利用，新疆地区的整体生活、生产水平仍然相对落后。

依据《全国水资源综合规划》(20101207)，2020年新疆用水总量为5.26×10^{10} m^3。而事实上，到2015年新疆地区用水总量已达5.77×10^{10} m^3，超过2020年规划用水总量，其中农业用水约占95%，但产值仅占新疆生产总值的16.6%。农业生产在新疆区域的产业结构中占据过大比重，但产生经济效益有限[20]。根据水足迹测算发现，新疆地区粮食、棉花等产品产量大，但这类农产品高耗水，经济效益低，且在新疆地区供大于求。因此，在保证区域粮食和生态安全前提下，考虑适当的调整产业结构，调整区域农作物种植结构，以需定供，增加农业原材料经济附加值，增大水资源承载力所支撑的沙产业发展规模，确保生态安全。

5 结 论

(1) 2000—2015年间，随着新疆人口增长和经济的发展，新疆沙产业发展迅速，部分沙地、戈壁等未利用土地和草地被开发利用。16 a间，未利用土地有6 247 km^{2}垦植为耕地，1 115 km^{2}变为工矿、居民用地。同时，草地有11 414 km^{2}垦植为耕地，541 km^{2}变为工矿、居民用地。

(2) 2000—2015年间，新疆地区水足迹以消费农产品水足迹占主体，且消费农产品水足迹量快速增加，主要原因是新疆地区大力发展沙产业，利用未利用土地、草地进行植物、沙生药材种植。

(3) 2000—2015年，新疆人均水足迹、水足迹效益指数、水资源压力指数均呈现增加趋势，但其数值均明显低于我国平均水平。说明新疆社会经济发展总体趋势向好，居民生活水平稳步提高，但新疆的水资源利用方式仍然比较粗放，水资源未得到合理开发。

(4) 新疆农业用水占全疆总用水量的近95%，农业在新疆产业结构中占比大，且经济效益低。新疆应适当调整产业结构，调整农作物种植比例和用水结构，以增大水资源承载力所支撑的沙产业发展规模，确保生态安全。

参考文献(References)

[1] 钱学森. 创建农业型的知识密集产业—农业、林业、草业、海业和沙业[J]. 农业系统科学与综合研究, 1985, (1): 1-7. [QIAN Xuesen. Establishment of the agricultural knowledge-intensive industry- agriculture, forestry, prataculture, seaculture and deserticulture[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 1985, (1): 1-7.]

[2] 刘恕. 对沙产业科学内涵的认识—纪念钱学森沙产业论述发表20周年[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2005, (1): 57-61. [LIU Shu. Comprehension of scientific connotations of deserticulture: In commemoration of the 20th anniversary of the publication of Qian Xuesen's treatise on deserticulture[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University(Social Sciences Edition) , 2005, (1): 57-61.]

[3] 司建华, 冯起, 席海洋, 等. 关于新时期中国西部发展沙产业的思考[J]. 中国沙漠, 2019, 39(1): 1-6. [SI Jianhua, FENG Qi, XI Haiyang, et al. Thoughts on the development of sand industry in the new period in western China[J]. Journal of Desert Research, 2019, 39(1): 1-6.]

[4] 孙才志, 刘玉玉, 陈丽新, 等. 基于基尼系数和锡尔指数的中国水足迹强度时空差异变化格局[J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1312－1321. [SUN Caizhi, LIU Yuyu, CHEN Lixin, et al. The spatial-temporal disparities of water footprints intensity based on gini coefficient and theil index in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(5): 1312-1321.]

[5] 张永勇, 夏军, 王中根. 区域水资源承载力理论与方法探讨[J]. 地理科学进展, 2007, 26(3): 126-132. [ZHANG Yongyong, XIA Jun, WANG Zhonggen. Research on regional water resources carrying capacity theory and method [J]. Progress in Geography, 2007, 26(3): 126-132.]

[6] FALKENMARK M, LUNDQVIST J. Towards water security: political determination and hum an adaptation crucial[J]. Natural Resources Forum, 1998, 21(1): 37-51.

[7] RIJSBERMAN M A, VAN DE VEN F H M. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban management of sustainable urban water systems[J]. Environment Impact Assessment Review, 2000, 20(3): 333-345.

[8] MENG L CHEN Y, LI W, et al. Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim River Basin, Xinjiang, China[J]. Chinese Geographical Science, 2009, 19(1): 89-95.

[9] YANG G, HE X, LI J. The evaluation method study for water resources sustainable utilization in arid areas[J]. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2010, 1(4): 359-362.

[10] 陈兴鹏, 戴芹. 系统动力学在甘肃省河西地区水土资源承载力中的应用[J]. 干旱区地理, 2002, 25(4): 377-382. [CHEN Xingpeng, DAI Qin. A study on water-soil capacity in Northwest arid

area with systemic dynamics: A case of Hexi Corridor Gansu province[J]. Arid Land Geography, 2002, 25(4): 377-382.]

[11] 曹丽娟, 张小平. 基于主成分分析的甘肃省水资源承载力评价[J]. 干旱区地理, 2017, 40(4): 906-912. [CAO Lijuan, ZHANG Xiaoping. Assessment of water resources carrying capacity in Gansu province based on principal component analysis[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(4): 906-912.]

[12] LIU J, DONG S, MAO Q. Comprehensive evaluation of the water resource carrying capacity for China[J]. Geography and Natural Resources, 2012, 33(1): 92-99.

[13] 石岩, 饶丹. 新疆水资源现状及其可持续利用对策分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 36-39. [SHI Yan, RAO Dan. Analysis on present situation of water resources and sustainable utilization countermeasures of Xinjiang[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2015, 36(4): 36-39.]

[14] 土尔逊托合提·买土送, 阿依古丽·克力毛拉. 新疆的沙产业及其发展对策研究[J]. 和田师范专科学校学报, 2013, 32(4): 59-62. [TORSONTOHTYO Matson, ARIGLYO Klimole. The study of countermeasure towards sand industry in Xinjiang province[J]. Journal of Hetian Normal College, 2013, 32(4): 59-62.]

[15] 周义才, 刘向晖, 孙艳梅, 等. 新疆沙产业发展区域差异性及其相关影响的研究[J]. 林业资源管理, 2015, (1): 31-37. [ZHOU Yicai, LIU Xianghui, SUN Yanmei, et al. Study on the regional differences and related effects of the deserticulture development in Xinjiang[J]. Forest Resources Management, 2015, (1): 31-37.]

[16] 戚瑞, 耿涌, 朱庆华. 基于水足迹理论的区域水资源利用评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 486-495. [QI Rui, GENG Yong, ZHU Qinghua. Evaluation of regional water resources utilization based on water footprint method[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(3): 486-495.]

[17] 马晶, 彭建. 水足迹研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5458-5466. [MA Jing, PENG Jian. Research progress on water footprint [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5458-5466.]

[18] 宋永永, 米文宝, 杨丽娜. 基于水足迹理论的宁夏水资源安全评价[J]. 中国农村水利水电, 2015, (5): 58-62. [SONG Yongyong, MI Wenbao, YANG Lina. The water resources security assessment of Ningxia based on water footprint theory[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015, (5): 58-62.]

[19] 马静, 汪党献, 来海亮, 等. 中国区域水足迹的估算[J]. 资源科学, 2005, 27(5): 96-99. [MA Jing, WANG Dangxian, LAI Hailiang. Water footprint- an application in water resources research [J]. Resources Science, 2005, 27(5): 96-99.]

[20] 程增辉, 陆宝宏, 熊丝, 等. 基于水足迹模型的新疆水资源承载力分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(6): 54-59. [CHENG Zenghui, LU Baohong, XIONG Si, et al. Analysis on water resources carrying capacity based on water footprint model in Xinjiang[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2016, 27(6): 54-59.]

[21] 王杰, 龙爱华, 杨广, 等. 近25 a来新疆农作物水足迹与经济增长的空间关系分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(3): 526-533. [WANG Jie, LONG Aihua, YANG Guang, et al. Spatial relationship between crops water footprint and economic growth in Xinjiang in recent 25 years[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(3): 526-533.]

[22] 段春青, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82-90. [DUAN Chunqing, LIU Changming, CHEN Xiaonan, et al. Preliminary research on regional water resources carrying capacity conception and method [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(1): 82-90.]

Study of current status of sand industry and carrying capacity of water resources in Xinjiang

LIU Hong-xia[1], FENG Yi-ming[2], GUAN Wen-ke[3]

(1 *Key Laboratory of Agricultural Big Data, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; 2 *Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing* 100091, *China*; 3 *Institute of Afforestation and Desertification Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*)

Abstract: The sand industry is a knowledge-intensive industry, and its vigorous development an inevitable choice for growth of western China, construction of ecological civilization, and poverty reduction. The sand industry increases the demand for water resources, meaning thatwater resources shortages have already become an important factor restricting th sand industry development, especially in arid areas. As the province with the largest area of sandy land in China, Xinjiang has been used as the region of study in this paper. Xinjiang's climate is

characterized as extremely dry, with an annual average precipitation of approximately 150 mm. Thus, the carrying capacity of water resources has become an important factor restricting social and economic development and ecosystem stability in Xinjiang. To evaluate the current status of the sand industry and the carrying capacity of water resources in Xinjiang, this study used land use/land cover RS interpretation data in Xinjiang from four phases (2000, 2005, 2010, and 2015) alongwith related data on the Water Resources Bulletin and the Statistical Yearbook in Xinjiang. This study analyzed sand industry development in Xinjiang in the last 16 years by calculating the amount of farmland, forest land, and grassland converted from unused land. Additionally, the study calculated the water footprint in Xinjiang during 2000 - 2015 and evaluated carrying capacity of regional water resources by combining the water footprint model and evaluation indices of the carrying capacity of regional water resources. The analyses found that (1) the sand industry in Xinjiang developed rapidly with population growth and economic development in Xinjiang during 2000–2015.Additionally, partially unused land and grasslands, including sandy land and portions of the Gobi Desert, were developed into arable land, forest land, land occupied by mining and towns, and land occupied by urban and rural residents. (2) The water footprint in Xinjiang as a whole increased, with the water footprint of consumed agricultural products accounting for a majority of that increase.The water footprint amount of consumed agricultural products increased rapidly, which was mainly caused by the vigorous development of the sand industry in Xinjiang and the use of unused land and grassland for growing medicinal and other plants. (3) The per capita water footprint, water resource pressure index, and water footprint benefit index in Xinjiang showed an increasing trend; however, their values were all significantly lower than China's overall per capita levels. The general social and economic development trend in Xinjiang was good; however, water resource utilization was still relatively extensive and water resources were not properly developed. These results suggest that the industrial structure in Xinjiang should be optimized, and the planting proportion of various crops and the water use structure should be adjusted.These changes would enhance the development scale of the sand industry, which is supported by water resources. This paper providesevidence for the adjustment of the region's industrial structure and water resources consumption pattern.

Key words: sand industry; water resources; water footprint; carrying capacity